



## 2. PROPAGACIÓN DEL FUEGO POR FACHADA

María Pilar Giraldo – Dra. Arquitecta. Profesora asociada de la ETSAB, miembro del Departamento de Tecnología en la Arquitectura de la UPC. Investigadora asociada del INCAFUST Institut Català de la Fusta.

Debido a la importancia de la fachada del edificio como vía de propagación del fuego en caso de incendio, en el siguiente capítulo se presentan de manera pormenorizada los mecanismos físicos que explican dicha propagación, vinculándolos a los diferentes parámetros arquitectónicos y constructivos de la fachada. Del mismo modo, se analiza de forma crítica la regulación nacional vigente en este ámbito, con el objetivo de proponer actuaciones que supongan una mejora en el comportamiento del conjunto del edificio en caso de incendio.

### 2.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS DE PROPAGACIÓN DEL FUEGO POR FACHADA

La propagación del fuego por fachada es una de las vías más rápidas de transmisión del fuego en las edificaciones. Constituye una ruta potencial de propagación a las plantas superiores e inferiores del edificio, pudiendo afectar también a edificaciones colindantes.

En la fachada convergen ciertos factores que favorecen la dinámica del incendio: la provisión permanente de oxígeno por su ubicación en contacto con el exterior, la verticalidad del medio de propagación, el viento, las condiciones atmosféricas etc. También contribuyen fenómenos como el efecto chimenea que facilita el movimiento ascendente de los flujos de calor y los humos, y el efecto coanda (propio de los fluidos) por el que las llamas tienden a seguir la configuración geométrica de la fachada.

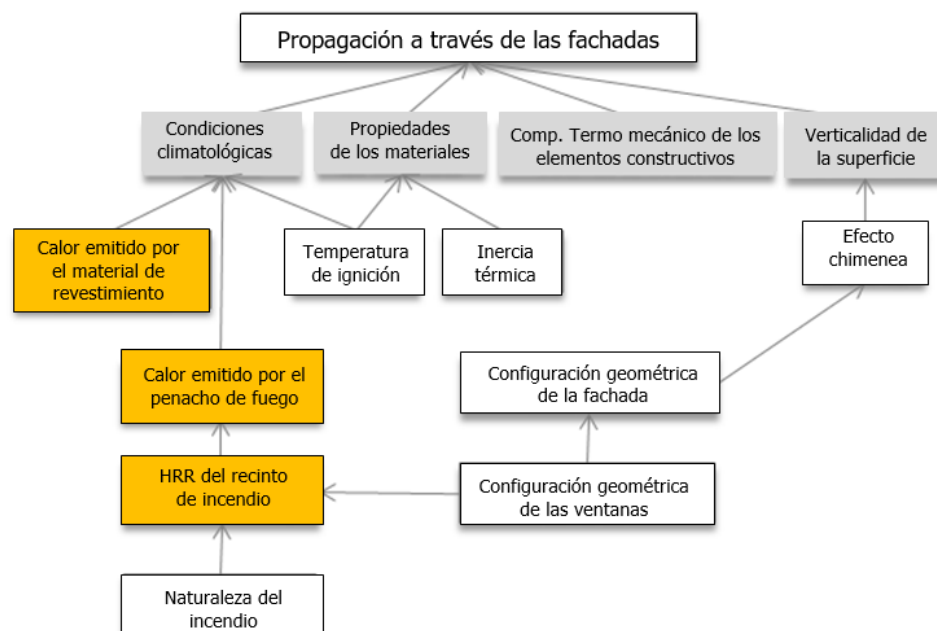


Figura 2.1. Esquema de los factores que inciden en la propagación del fuego a través de las fachadas. Fuente: Esquema propio, a partir del propuesto por C. Wade (1995).

Existen tres escenarios a partir de los cuales puede tener lugar la propagación del fuego por fachada (Figura 2.2):

- (a) Fuego proveniente del exterior que se transmite a través de brasas ardientes, ya sea por un incendio de un edificio vecino o una zona boscosa en llamas. También puede darse por contacto con fuegos pirotécnicos (ver casos incendio capítulo 7: CCTV Tower, Pekín, China 2009. The Address Hotel Dubái, EAU 2016).
- (b) Fuego proveniente de un elemento ardiendo frente a la fachada, un contenedor de basuras, un coche, etc. También se pueden incluir en esta categoría el fuego causado por actividades que generan chispas (corte con radiales o la soldadura) en las obras de construcción.
- (c) Fuego originado en un recinto del propio edificio que se propaga hacia el exterior a través de las ventanas. Esta última situación es la que ocurre con mayor frecuencia, y por ello es la que merece más atención.

Por lo general, este evento de propagación indica que el incendio en el recinto ya ha alcanzado la etapa de máximo desarrollo *flashover* (combustión súbita generalizada), y por tanto se encuentra en la fase *post-flashover*. En este punto, dependiendo de características del incendio y de la carga combustible, los flujos de calor y el tamaño de las llamas que se proyectan hacia el exterior pueden ser muy significativos.

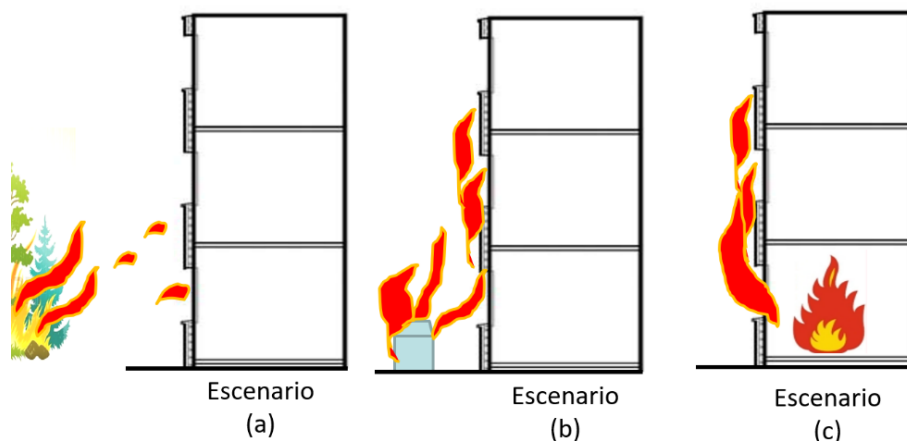


Figura. 2.2. Escenarios en los que se puede originar la propagación del fuego por fachada.  
Fuente: Dibujo propio, a partir del realizado por I. Kotthoff- j. Riemeshch (2013).

El fuego, dada su trayectoria ascendente natural, puede propagarse a través de la superficie de la fachada aun cuando los materiales de revestimiento sean incombustibles.

Debido a las corrientes convectivas que se generan durante el desarrollo de un incendio, el fuego (llamas, humo, gases, flujos de calor etc.) tiene una trayectoria natural predominantemente ascendente, es lo que se conoce como efecto de flotabilidad (*Bouyancy effect*). Por ello puede propagarse a través de la superficie de fachada aun cuando los materiales de revestimiento no contribuyan a la reacción, es decir, aunque sean incombustibles. El tamaño, la intensidad y la duración de la propagación a través de las ventanas del recinto depende principalmente de factores como: la carga de fuego, el tamaño del recinto, la

configuración geométrica de las ventanas y las condiciones de ventilación. Los factores climatológicos tales como la temperatura, la presión, la humedad relativa y el viento también pueden influir en los procesos que determinan el desarrollo y propagación del incendio. De todos estos factores, el viento es posiblemente el más influyente debido a su relación con el factor de ventilación, el cual a su vez tiene una enorme relación con la geometría de las ventanas (M. Law, 1978).

Normalmente, el flujo de calor emitido por el penacho de fuego es suficientemente alto para provocar la rotura de los vidrios de las plantas superiores y generar fuegos secundarios que extenderán el incendio. La penetración del fuego a otras plantas del edificio a menudo está relacionada con materiales combustibles como las cortinas, toldos, persianas, tendederos de ropa, elementos de control solar, muebles etc.

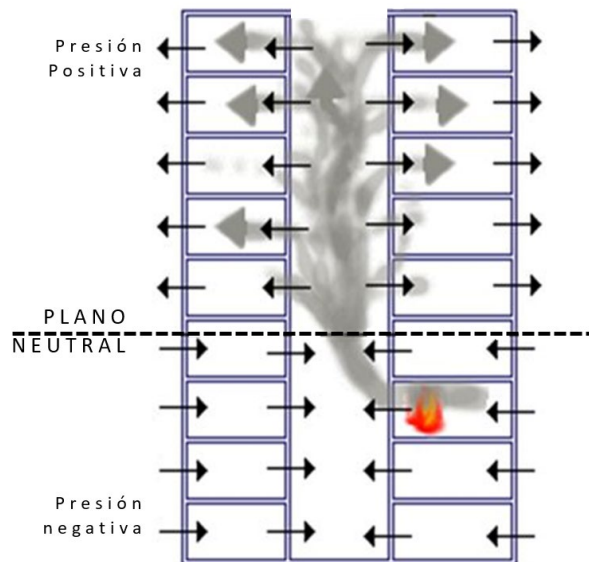


Figura 2.3. Flujos internos de aire por efecto chimenea y presiones (izquierda). Incendio en patio de luces en un edificio de vivienda (derecha).

Fuentes: Dibujo propio, a partir del realizado por A. Curtis (2015). Incendio en patio de luces edificio de viviendas. Bomberos de la Generalitat de Catalunya.

El efecto chimenea juega un papel determinante en la propagación vertical del fuego y su influencia es más acusada en edificios altos.

El efecto chimenea también juega un papel determinante en la propagación vertical del fuego, su influencia es más acusada en edificios altos. Este fenómeno genera fuerzas capaces de desplazar importantes volúmenes de humo a través de las cajas de escaleras, de ascensores y todo conducto vertical de instalaciones. También es el responsable de la rápida propagación del fuego en fachadas de patios interiores (Fig. 2.3).

Este tipo de propagación del fuego por fachadas pasa más desapercibido, pero puede tener un impacto, en ocasiones, mayor que un incendio en una fachada principal debido al número de recintos que puede llegar a afectar de forma casi simultánea.

La propagación del fuego por fachada puede ocurrir fundamentalmente por cuatro vías distintas o el desarrollo simultáneo de dos más más.

- (A) Propagación a través de las ventanas, denominado técnicamente como efecto “*leap frog*” (salto de rana).
- (B) Propagación a través de cavidades en el encuentro del forjado y la fachada
- (C) Propagación a través de cámaras ventiladas.
- (D) Propagación a través de revestimientos combustibles. En esta categoría se incluyen entre otros, la propagación a través paneles metálicos con núcleo aislante combustible -composites y sándwiches-, la propagación a través de sistemas de aislamiento por el exterior (SATE), etc. Revestimientos exteriores combustibles aplicados sobre una hoja principal que pudiera ser no combustible.
- (E) Propagación a través de una hoja principal con elementos combustibles. En esta categoría se incluyen principalmente paneles de configuración diversa como elemento único para el cierre de la fachada.

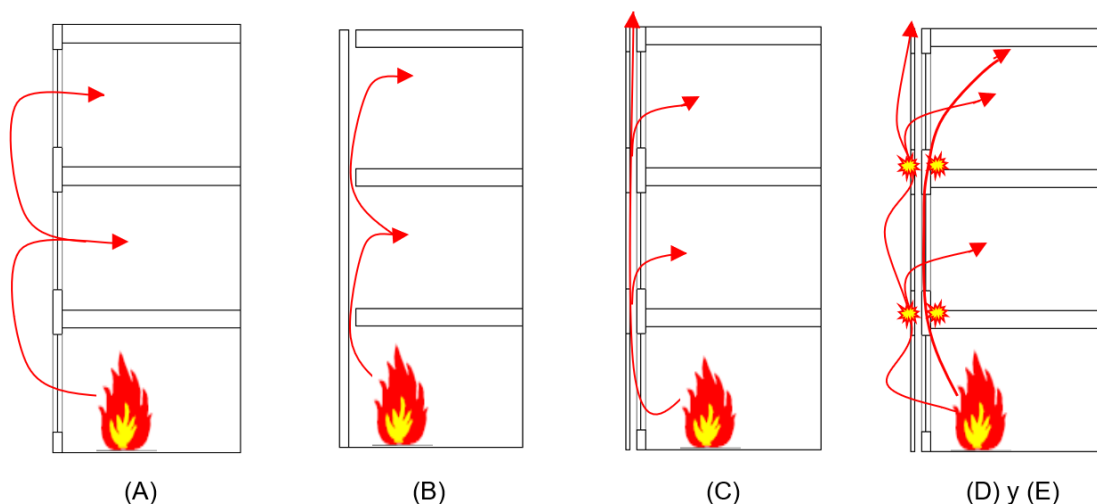


Figura 2.4. Esquema de las vías de propagación del fuego por fachada.  
Fuente: M.P Giraldo, 2012.

## 2.1.1. VÍAS DE PROPAGACIÓN

### 2.1.1.1 Propagación a través de las ventanas o efecto *leap frog*

Consiste en la capacidad del incendio para propagarse de forma ascendente y secuencial a través de las ventanas. Cuando un incendio tiene lugar en una estancia adyacente a la fachada, la presión ocasionada por el aumento de las temperaturas y la producción de gases induce la descarga del fuego y gases calientes a través de las aperturas (ventanas y puertas) indicando que el incendio ha alcanzado la fase de *flashover*, lo cual se da cuando la temperatura del recinto ronda los 600°C (D. Drysdale, 1998). Normalmente, el flujo de calor proyectado será suficiente para provocar la rotura de las ventanas de la planta superior y penetrar a través de ésta, dando lugar a un fuego secundario, una nueva situación de *flashover* y la consecuente propagación ascendente del fuego. Los objetos ubicados en las inmediaciones de la fachada, tales como persianas, toldos, ropa colgada, etc., servirán de puente para la transmisión del fuego a las plantas superiores. El tamaño y la forma de las ventanas influyen de forma significativa en el desarrollo de este fenómeno. Aunque este mecanismo puede suceder en cualquier tipo de fachada (con materiales combustibles e incombustibles), el riesgo puede minimizarse mediante elementos de fachada salientes tales como aleros, balcones o retranqueos.

### 2. 1.1.2 Propagación a través de cavidades en el encuentro del forjado y la fachada

Este tipo de propagación puede ocurrir en cualquier construcción en la que existan cavidades (grandes o pequeñas) en la unión del forjado y la fachada. Las fachadas que normalmente se sitúan pasantes por delante de los cantos de forjado son, el muro cortina y la fachada panel. La propagación del fuego por esta vía se debe, por lo general, a la ausencia o mala resolución constructiva de dicho encuentro. Durante la fase de total desarrollo de un incendio se pueden alcanzar temperaturas que rondan los 900 – 1.100 °C. En estas condiciones las presiones pueden llegar a ser muy altas y el fuego puede penetrar por cualquier brecha o fisura a la que den lugar las barreras cortafuego, ya sea debido a una baja calidad de ejecución o

Hay que garantizar que todos los elementos que componen la fachada consiguen la integridad y el aislamiento admisibles durante el periodo de 60 minutos exigido por el EI 60

porque el elemento no tiene las prestaciones suficientes en situación de incendio. Conviene tener presente, que se trata de un encuentro que vincula dos estructuras de naturaleza constructiva distinta y que, por ende, responden a acciones mecánicas y térmicas también distintas. La solución debe permitir la absorción de los movimientos diferenciales entre ellas. Los riesgos asociados son significativos, ya que, en el caso del muro cortina o de paneles tipo unitised la fachada se soporta en subestructuras de acero o aluminio que, pese a ser

incombustibles, muestran una débil capacidad termomecánica, lo que fácilmente puede ocasionar el colapso de la fachada en un espacio de tiempo muy limitado.

Un caso paradigmático de este mecanismo de propagación ocurrió en el incendio del edificio Windsor de Madrid (2005) (ver casos de incendio capítulo 7).

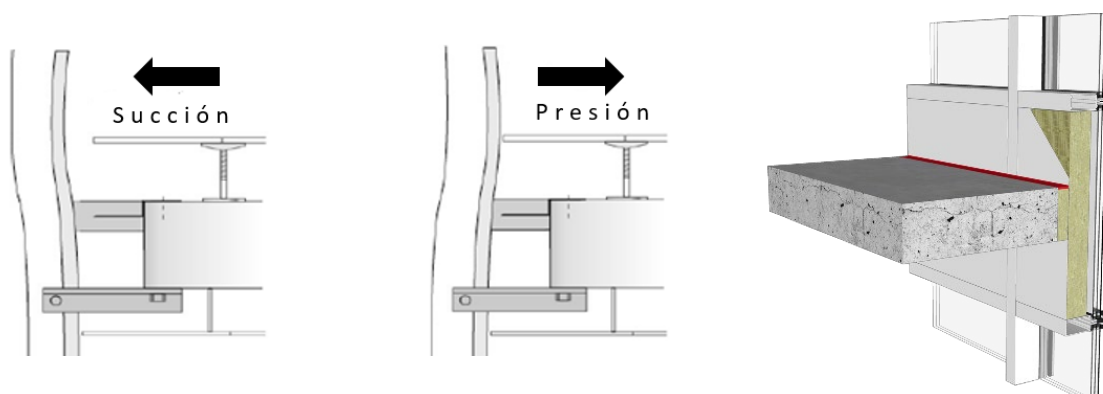


Figura 2.5. Los elementos cortafuego situados en el encuentro del forjado y la fachada deben ser flexibles para soportar cargas de viento (izquierda). Detalle constructivo específico para muros cortina con barrera cortafuego de lana de roca y recubrimiento de película elastomérica (derecha). Fuentes: Lamatherm. Rockwool.

De forma ideal, y a fin de cumplir con lo estipulado en la normativa vigente (CTE) se ha de garantizar que todos los elementos que componen el sistema de fachada (subestructura, elementos de fijación, paneles opacos, barreras, etc.) alcanzan la integridad y el aislamiento necesarios durante un periodo de 60 minutos (EI 60) en una franja de un metro como mínimo entre dos sectores de incendio. Esta disposición aplica de forma generalizada para cualquier tipología de fachada con el fin de limitar la propagación vertical del fuego, según lo determina el CTE en su documento básico de seguridad contra incendios DB SI sección 2.3. (Fig. 2.6).

Tal como se indica en el capítulo 5, existen normas de ensayo a gran escala aplicables a sistemas de muro cortina. No obstante, presentan sus limitaciones en la medida que sólo evalúan el sistema en términos de resistencia al fuego. Además, las condiciones de ensayo no reproducen una situación típica de propagación exterior del fuego.

En el mercado de productos es posible encontrar diferentes soluciones constructivas de sellado para resolver el encuentro de la fachada con el forjado del edificio y la franja de 1 m exigida por el CTE. Sin embargo, cabe señalar que la configuración de este tipo de fachadas se caracteriza por grandes ventanales lo cual a su vez es uno de los factores de riesgo asociados al diseño de las fachadas. En este sentido, resulta difícil establecer el nivel de seguridad real que puede aportar la solución constructiva (barrera cortafuego + franja 1 m) si se considera que el flujo de calor y las llamas son proporcionales al tamaño de las ventanas por las que se propaga el fuego.



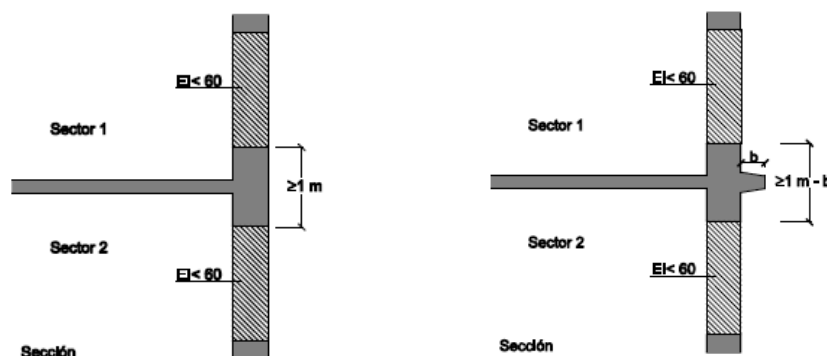


Figura 2.6. Limitación de la propagación vertical del fuego entre dos sectores de incendio, aplicable a cualquier tipología de fachada. Fachada al menos EI 60 en una franja de  $H \geq 1$  de altura (izquierda). La franja de 1 m podrá reducirse en la dimensión de un elemento saliente (derecha).  
Fuente: CTE DB SI sección 2.

### 2.1.1.3 Propagación a través de cámaras ventiladas

Este tipo de propagación ocurre en las fachadas con cámara ventilada – fachada ventilada o rain-screen- y en fachadas de doble piel de vidrio, incluyendo aquellas donde la disposición de un elemento de control solar, como podrían ser unas lamas,

Si el aislamiento térmico de dentro de la cámara es de material combustible, contribuirá significativamente a la propagación del fuego a través de esta.

genera una segunda “hoja” y en consecuencia una “cámara”. Esta es sin duda la vía de propagación más rápida de las cuatro que se mencionan. Según estudios realizados en el BRE Building Research Establishment británico (S. Colwell, B Martin, 2003), el frente de propagación puede ser de 5 a 10 veces mayor que el penacho de fuego que se proyecta por las ventanas por efecto *leap frog* (Fig.2.7). Las fachadas ventiladas se caracterizan por las ventajas higrotérmicas que aporta la circulación natural de aire que ocurre a

través de la cámara gracias al efecto chimenea. Sin embargo, este mecanismo se convierte en un factor crítico en situación de incendio, facilitando la propagación del fuego de forma rápida. Además, si el aislamiento térmico que habitualmente se ubica dentro de la cámara y en contacto con la ventilación es de un material combustible, lo cual ocurre con regularidad, contribuirá significativamente a la propagación a través de la cámara. Para evitar este tipo de propagación es necesario que las carpinterías de las ventanas y el telar incorporen algún sistema de contención del fuego procedente del interior del edificio. El telar del hueco – jambas, alfeizar y dintel- puede constituir una ruta fácil de penetración de las llamas o los humos a la cámara, más aún, teniendo en cuenta que normalmente las carpinterías son de aluminio o PVC y los telares de chapa de acero. Así mismo, es fundamental compartimentar la cámara ventilada mediante barreras cortafuego ubicadas a la altura de cada forjado. Esta compartimentación no debe mermar la función estanca de la cámara drenante y por lo tanto debe estar resuelta con elementos provistos de baberos para la expulsión del agua y goterones. En la medida que, a esta cámara drenante, en fachadas soleadas, se le encomienda una función de barrera frente al exceso de radiación, se deberá garantizar que la cámara no se sobrecalienta con una cierta ventilación. Existen soluciones de



sectorización de las cámaras que no impiden la circulación del aire en situación normal, pero sí evitan el paso de las llamas en caso de incendio. Se trata de delgadas barras de material intumescente que se hinchan al contacto con flujos de calor por encima de los 200°C. En este tipo de propagación, al igual que en el anterior, uno de los riesgos principales es que la subestructura (conformada por montantes y travesaños metálicos) de la fachada queda expuesta a la acción directa del fuego que se propaga a través de la cámara ventilada. Esto comporta riesgo de colapso total o parcial de la subestructura debido a su débil comportamiento termomecánico, con la consiguiente caída de las placas del revestimiento.

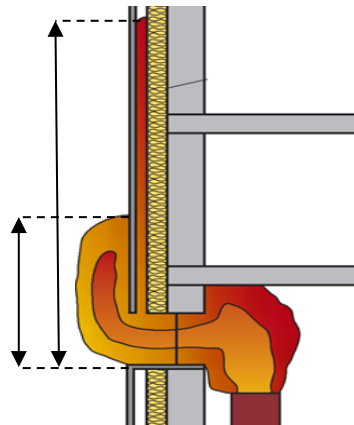


Figura. 2.7. El fuego se propaga paralelamente a través de las ventanas y la cámara ventilada. La altura de las llamas en la cámara puede ser de 5 a 10 veces mayor que el penacho de fuego que se proyecta a través de las ventanas.

Fuente: S. colwell, B. martin, 2003.

El CTE DB SI sección 1 determina que la compartimentación de las cámaras ventiladas (definidas dentro de la categoría de espacios ocultos) se debe realizar cada 3 plantas o 10 m, pero sólo cuando el material aislante alojado en la cámara no cumple con los requerimientos de reacción al fuego B-s3,d2. No hay exigencia de clasificación en edificaciones de altura igual o menor a 18 m. En éstas sólo se exige que el material sea B-s3, d2, en una altura de 3,5 m en las zonas accesibles al público.

Si el material aislante cumple con la clasificación exigida dicha compartimentación no es requerida, en edificios de cualquier altura, no tomando en consideración la amenaza que representa la cámara ventilada en sí misma. Por otro lado, se admite una clase C-s3,d2, es decir un material con una contribución limitada al fuego, si se prevén las barreras cortafuegos de clase E30 en las condiciones antes mencionadas. Esta última disposición, en la que se admiten materiales con peor clasificación de reacción al fuego forma parte de una modificación del CTE realizada en junio de 2014.

El incendio de la torre Grenfell de Londres es un caso en el que múltiples factores influyeron para que el fuego se propagara de manera tan rápida y virulenta. La cámara ventilada fue uno de los principales mecanismos de propagación. El sistema de fachada del edificio contemplaba unas barreras cortafuego tal como lo exige la norma británica (a la altura de cada forjado) sólo que, al parecer, éstas no llegaban hasta el revestimiento y, por lo tanto, no eran realmente elementos de compartimentación que impidieran el paso de las llamas, tal como efectivamente ocurrió (Fig. 2.8).

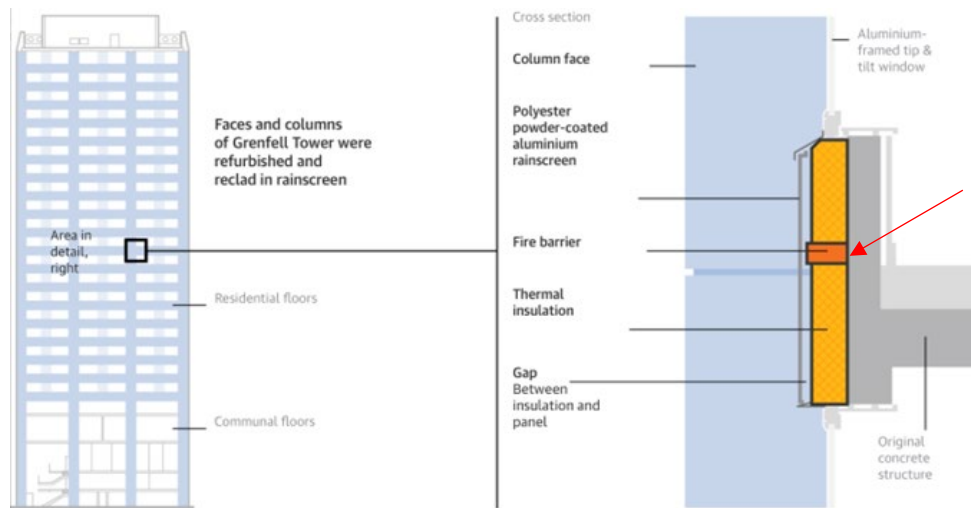


Figura 2.8. Detalle constructivo de la fachada del edificio Grenfell. Diversos factores relacionados con el sistema de fachada fueron el detonante para la rápida e intensa propagación del fuego. Fachada ventilada mal compartimentada, paneles de revestimiento combustible, aislante térmico combustible

Fuente: Architects for Social Housing.

Por otro lado, por tratarse de una rehabilitación en la que se dispuso un sistema de fachada ventilada sobre la fachada original del edificio (conformada a su vez por un sistema aplacado con paneles de ventana y placas de material pétreo cubriendo los forjados), algunos puntos críticos de la configuración geométrica quedaron sin resolver apropiadamente, como fue el caso de unos pilares salientes con forma prismática ubicados a una distancia regular a lo largo del edificio en sus cuatro fachadas (Fig.2.9). En estos puntos el fuego se propagó por el trasdós y el intradós de la fachada ventilada. En algunas imágenes del Incendio se puede apreciar con claridad este efecto (Fig.2.10).

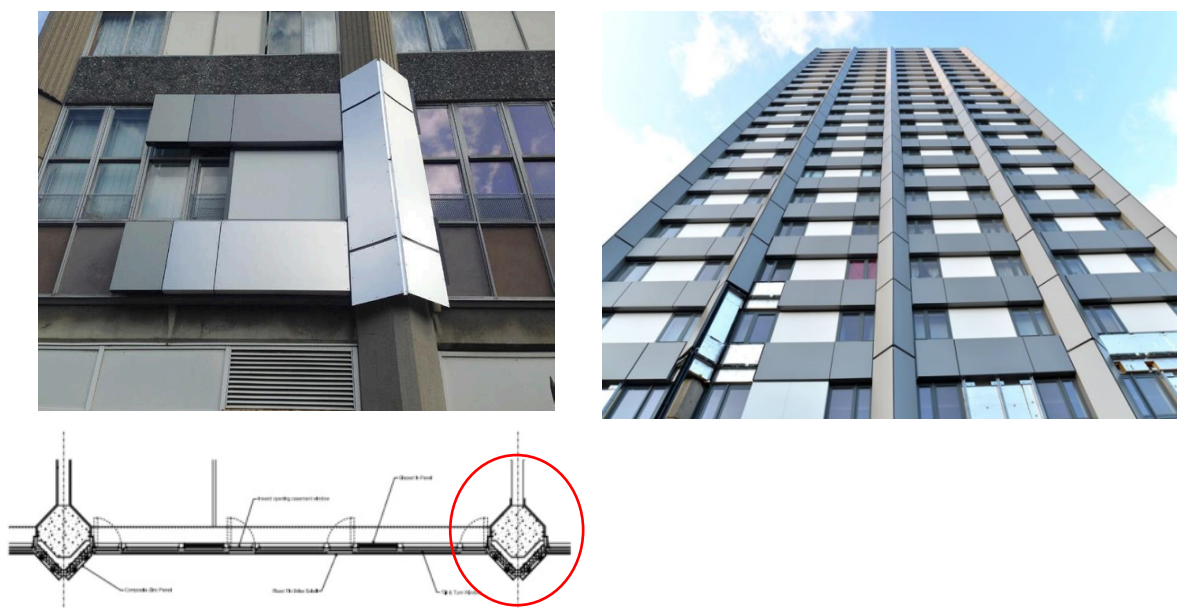


Figura 2.9. Imagen del estudio inicial de la fachada ventilada del edificio Grenfell y del detalle en planta de la resolución de los pilares salientes (izquierda). Imagen de la rehabilitación de la fachada casi finalizada (derecha).

Fuente: Architects for Social Housing.

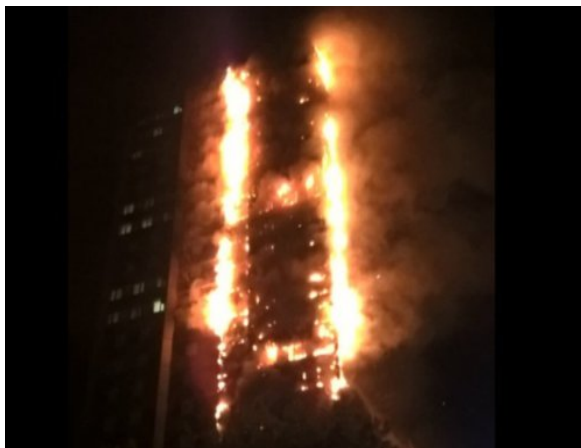


Figura 2.10. Imagen del incendio del edificio Grenfell donde se aprecia la propagación del fuego a lo largo de los pilares salientes de las fachadas (izquierda). Imagen del edificio Grenfell después del incendio.

Fuentes: Argentina Inside News. El Litoral.

#### 2.1.1.4 Propagación a través de revestimientos combustibles

Los revestimientos combustibles pueden dar lugar a un incendio de gran rapidez e intensidad capaz de emitir una elevada radiación. Las propiedades químicas y térmicas de los materiales son muy importantes en este aspecto. Algunos materiales combustibles (derivados del petróleo) pueden generar una importante cantidad de humos opacos, gases tóxicos (el capítulo 3 de este estudio profundiza sobre la toxicidad de los humos), y también desprender partes de material o gotas incandescentes durante su proceso de degradación. Ello es claramente muy peligroso en una fachada, entre otras cosas, porque puede dificultar la evacuación de los ocupantes y la actuación de los equipos de rescate y extinción.

Algunos revestimientos combustibles pueden generar gran cantidad de humos opacos y tóxicos que dificultan la evacuación de los ocupantes y la actuación de los equipos de rescate.

El calor transmitido por el penacho de fuego precalienta la superficie de la fachada, acelerando los procesos de pirólisis y la velocidad de propagación de la llama. La transmisión de calor se hace mucho más efectiva debido a la elevada velocidad de cesión del calor que ocurre por la combustión de un material con un alto poder calórico.

El riesgo de propagación del fuego a otras edificaciones es elevado debido a que el calor de las llamas que emergen por las ventanas se suma la radiación emitida por la superficie del material en combustión. También el riesgo de propagación a las plantas superiores es mayor. La mejor manera de evitar este tipo de propagación es empleando materiales cuya contribución a la propagación del fuego sea muy limitada. El CTE SI sección 2 estipula que los materiales que ocupen más del 10% de la superficie de fachada deben tener una clasificación B-s3, d2, pero

sólo hasta una altura de 3,5 m en zonas accesibles al público en edificios de hasta 18 m de altura. Los edificios que superan esta altura han de cumplir el requisito de clasificación en su totalidad (ver capítulo 4).

Este tipo de propagación puede producirse también en materiales cuya capa exterior no es combustible, como es el caso de los paneles sándwich con chapa exterior de aluminio o acero y núcleo aislante de material combustible. Ocurre cuando por acción del fuego el revestimiento del panel pierde su integridad dando lugar a la propagación del fuego a través del material combustible del núcleo. Igualmente puede desarrollarse en sistemas de aislamiento por el exterior SATE (ETICS en inglés) una vez que el fuego alcanza la capa interior de aislamiento si éste es combustible.

- **Paneles sándwich**

Bajo el nombre de panel sándwich se pueden situar diferentes productos constructivos prefabricados. Sin embargo, para centrarnos en el tema que nos ocupa sólo consideraremos **los empleados como revestimiento de fachadas o cubiertas**. Se trata de productos formados por dos chapas externas resistentes de aluminio o acero galvanizado de poco espesor, con un núcleo de material aislante de espesor variable entre 25 y 80 mm. El núcleo de material aislante normalmente está formado por espuma rígida de poliuretano (PUR) o su variante poliisocianurato (PIR). También se utilizan el poliestireno expandido (EPS), el poliestireno extruido (XPS) y en menor proporción la espuma fenólica modificada (MPHEN) y el vidrio celular (CG). El panel sándwich también puede estar constituido por materiales aislantes no combustibles como la lana de vidrio o la lana de roca, sin embargo, éstos son utilizados con menor frecuencia. Actualmente, los paneles sándwich con núcleo aislante PUR y PIR son los que se utilizan más habitualmente. En sus inicios el panel sándwich se utilizó exclusivamente en aplicaciones industriales, pero su uso se ha ido extendiendo en el sector de la construcción de edificios debido a sus prestaciones como material prefabricado (ligereza, modularidad, instalación estandarizada, etc.) y la facilidad de tener aislamiento térmico y acabado en un mismo producto.

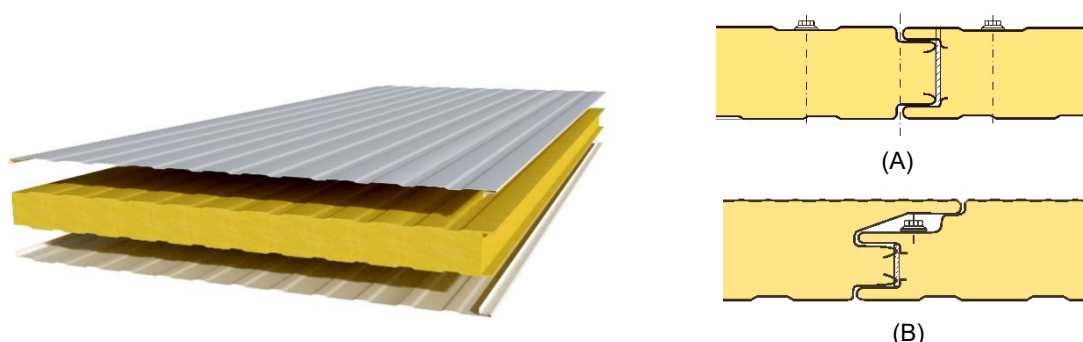


Figura. 2.11. Panel sándwich para fachada con chapas exteriores metálicas onduladas y núcleo aislante de poliuretano expandido densidad media 40 kg/m<sup>3</sup> (izquierda). Tipos de unión (A) con tornillería vista. (B) con tornillería oculta (derecha).

Fuente: Patec.org.



Este incremento en su uso también ha venido acompañado de numerosos casos de incendio que han puesto en evidencia su potencial peligrosidad, especialmente, cuando se utilizan como revestimiento para edificios en altura.

En Emiratos Árabes Unidos (EAU) desde el año 2012 han ocurrido 5 grandes incendios en rascacielos, y todos ellos tienen en común el uso de este tipo de revestimiento de fachada. Dubai tiene, probablemente, la mayor concentración de uso de ACM (*Aluminium Composite System*) en el mundo. Expertos locales sugieren que en el “Nuevo Dubái” (construido durante los últimos 20 años) hasta un 70% de los revestimientos de fachada son de panel sándwich con núcleo de aislante termoplástico (A. Schreck, y J. Gambrell, 2016). En muchos casos se trata de paneles sándwich con chapa exterior de aluminio y núcleo de polietileno, que es el mismo revestimiento de fachada que tenía la torre Grenfell de Londres cuando ocurrió el trágico incendio en junio de 2017 (Figura 2.12). Aunque en el incendio de la torre Grenfell intervinieron múltiples factores que determinaron la rápida propagación del fuego, uno de los aspectos señalados como determinantes fue el revestimiento exterior. En la normativa de seguridad contra incendios de EAU de 2012 -2013 (*Fire and Life Safety Code*), modificada después de varios incidentes de incendio graves, se prohibió explícitamente el uso de este tipo de revestimientos. A pesar de los esfuerzos y modificaciones de la regulación en materia de seguridad, las medidas no han sido efectivas para impedir que nuevos casos de incendio sucedan por no tener éstas carácter retroactivo.

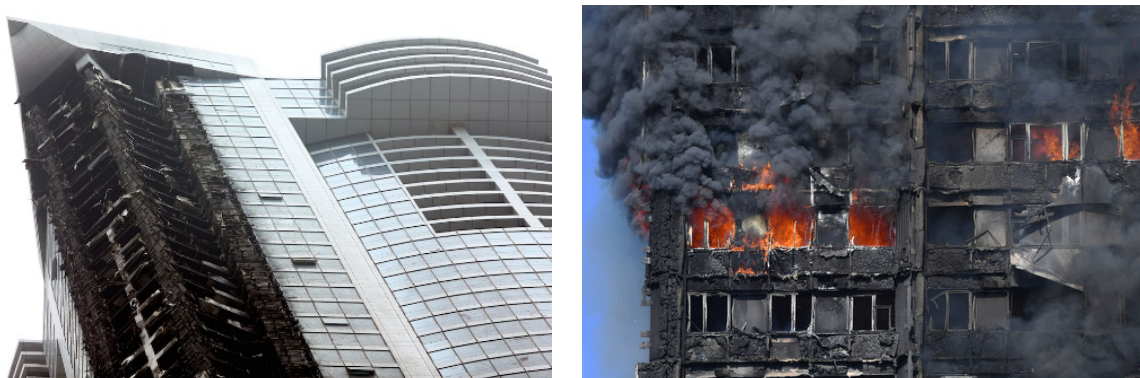


Figura. 2.12. El edificio Torch Tower (Dubai) ha sufrido dos incendios en dos años, en marzo de 2015 el primero (foto) y en agosto de 2017 el segundo (izquierda). Incendio de la torre Grenfell junio de 2017 (derecha).

Fuentes: [ilpost.it](http://ilpost.it). [huffingtonpost.co.uk](http://huffingtonpost.co.uk).

Estos productos de revestimiento dan una falsa sensación de seguridad basada en la incombustibilidad de la chapa de recubrimiento exterior. Por ello, en general se consideran de difícil ignición. Sin embargo, una vez la situación de incendio toma ciertas proporciones la chapa no constituye ningún obstáculo para que el núcleo combustible entre en ignición contribuyendo de forma significativa a la carga de fuego y la propagación del incendio (P. Morgan, y M. Shipp 1999; E. Luengo, 2007). Por otro lado, este tipo de paneles sándwich producen abundantes humos densos, gases tóxicos y caída de material incandescente, lo cual aumenta su peligrosidad.

La contribución del panel a la situación de incendio dependerá también de factores como: la magnitud del incendio, la altura y geometría del edificio, la ubicación, formato y configuración del panel y su composición (especialmente del núcleo). También dependerá del diseño del sistema de uniones (juntas, fijaciones, remaches, tapajuntas, etc.), la forma de anclaje a la estructura del edificio, la tipología de la subestructura de fachada y la resistencia al fuego de la estructura de soporte (P. Collier, y G. Baker 2004, P. Johansson, y P. Van Hees 2002; E. Luengo, 2007). Dentro de esta variabilidad de factores, el material aislante del núcleo parece ser el factor más determinante. Por orden de peor a mejor comportamiento esperado se encontrarían los núcleos de poliestireno (expandido y extruido), poliuretano PUR (con variabilidad según composición), poliisocianurato PIR (con variabilidad según composición), espuma fenólica y, finalmente (con un comportamiento muy diferenciado) los de lanas minerales (ABI 2003; E. Luengo, 2007).

Los paneles sándwich dan una falsa sensación de seguridad basada en la incombustibilidad de la chapa de recubrimiento exterior, sin embargo, cuando el incendio toma ciertas proporciones, la chapa no constituye ningún obstáculo y el núcleo combustible contribuye significativamente en la carga de fuego y propagación del incendio.

Los posibles fenómenos específicos que pueden producirse con paneles sándwich durante un incendio totalmente desarrollado son los siguientes:

**Delaminación de las caras.** Se produce por fallo de adhesión entre las caras metálicas y el núcleo (Figura 2.13). Puede ocurrir en todo tipo de paneles. Se considera un fenómeno peligroso por la posible caída de piezas y por provocar la exposición prematura del núcleo combustible a la acción del incendio. Esta situación puede suponer un aumento significativo en la potencia y velocidad de propagación del fuego (P. Morgan, y M. Shipp, 1999; E. Luengo, 2007).

**Inestabilidad de los paneles y fallo de fijaciones.** Una de las características de los paneles sándwich es su puesta en obra rápida, estandarizada y con pocos elementos de fijación. En situación de incendio este aspecto puede dar lugar a fenómenos de inestabilidad por desprendimiento de fijaciones, caída de piezas y pérdida de rigidez de los paneles.

**Deformación de los paneles y apertura de juntas.** La exposición de los paneles a las altas temperaturas del incendio también puede producir la deformación de bordes de unión y apertura de juntas, exponiendo el núcleo al ataque directo del fuego. Al igual que en el primer caso, esta situación puede incrementar de forma importante la velocidad de propagación y la intensidad del fuego (P. Collier 2005; E. Luengo, 2007).



Figura 2.13. Imagen de delaminación de un panel sándwich con alma de poliuretano durante un incendio en el Hospital Wharfedale Otley, West Yorkshire, Inglaterra 2003.  
Fuente: International Fire protection.

Los aislantes combustibles que constituyen el núcleo de los paneles tienen una clasificación de reacción al fuego muy baja como material, por lo general son clase E o F. No obstante, cuando pasan a formar parte del panel y configuran un producto tienen una clase de reacción al fuego C-s3, d0 y algunos PIR, dependiendo del fabricante, alcanzan la clase B-s1, d0 (Tabla 2.1). La clasificación B-s2, d0 corresponde a materiales con un buen comportamiento y una contribución muy limitada al desarrollo del fuego, aptos para casi cualquiera aplicación de fachada. Sin embargo, no se corresponde con el comportamiento que se aprecia en estos productos en una situación de incendio real.

	PUR	PIR	EPS/XPS	LANA MINERAL
Temperatura que perturba la estabilidad dimensional (°C)	~200	~200	~90-100	-
Temperatura de ignición (°C)	285-310	415	245-345	
Clase de reacción al fuego	E, D, C Según fabricante	D	E, F	A1
	Paneles sándwich PUR	Paneles sándwich PIR	Paneles sándwich EPS/XPS	LANA Paneles sándwich MINERAL
Clase de reacción al fuego del material aislante en un panel sándwich	C-s3, d0 B-s2, d0 B-s3, d0 Según fabricante	B-s1, d0 B-s2, d0	-	A1-s1, d0
Clase de reacción al fuego del material aislante más enfoscado (SATE)	C-s2-d0 B-s1, d0 Según fabricante	B-s1, d0	B-s1, d0	A1-s1, d0

Tabla 2.1. Comportamiento al fuego de materiales y productos aislantes  
Fuente: M. P. Giraldo a partir de datos publicados por fabricantes de materiales y productos.

Como se explica en el capítulo 5, esta situación se debe al tipo de ensayos establecidos desde el Comité Europeo de Normalización (CEN) para determinar la clasificación de reacción al fuego de los productos de fachada. Los ensayos a escala media como el SBI EN 13823 pueden dar lugar a resultados engañosos porque la exposición a la que se somete la probeta no es representativa de las condiciones reales de uso final de un producto de fachada (N. White et al. 2014). De hecho, la reacción al fuego de los materiales y productos no es un parámetro suficiente para determinar el comportamiento de un sistema de fachada constituido por diversos elementos constructivos.



Actualmente, existe un amplio consenso de la necesidad de definir un escenario de ensayo a gran escala que permita probar productos y sistemas bajo condiciones de uso final equivalentes a una situación típica de propagación por fachada.

- **Sistemas de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE)**

El nuevo plan energético europeo, redactado en 2015, reconoce como una de las medidas más eficaces para reducir los consumos y las emisiones de CO<sup>2</sup> en Europa

El nuevo plan energético europeo reconoce como una de las medidas más eficaces para reducir los consumos y las emisiones de CO<sub>2</sub> en Europa, la mejora energética de los edificios residenciales mediante SATE

la mejora energética de los edificios residenciales mediante sistemas de aislamiento por el exterior SATE. Se trata de sistemas de fácil aplicación, tanto en edificios de obra nueva como en rehabilitación. Constan de una capa de aislamiento térmico que se fija al soporte (fachada), una capa exterior de mortero armado con una malla de fibra de vidrio y una capa de acabado (imprimación y revoco o plaqueta amorterada). Todas las capas conforman un único elemento (kit).

Diferentes materiales aislantes pueden emplearse en este sistema: fibra de madera de alta densidad, corcho expandido, lana de vidrio, lana de roca, espuma de poliuretano (PUR), Espuma de poliisocianurato (PIR), Poliestireno expandido (EPS), poliestireno extrusionado (XPS), vidrio celular (CG). No obstante, según datos de la Asociación Europea para el SATE (EAE, 2013) se estima que el 85% de los SATE instalados en Europa tienen aislante de EPS. En España no hay datos oficiales, pero el EPS se sitúa también como el material aislante usado con más frecuencia, principalmente por su bajo coste.

El uso de materiales combustibles (PUR, PIR, EPS, XPS etc.) supone un riesgo por el aumento significativo de la carga de fuego de la fachada y la probabilidad de que el fuego alcance el “núcleo” combustible y se propague a través de éste. El progresivo aumento del espesor requerido para el aislante por el incremento de exigencias en la transmitancia térmica también es un aspecto a tener en cuenta.

La protección del sistema para cumplir los requerimientos de seguridad en caso de incendios se basa en la capa exterior de mortero y revoco, cuyo espesor varía entre

Se estima que el 85% de los SATE instalados en Europa tiene aislante de EPS

5 y 9 mm. El mortero y los aglomerantes hidráulicos son materiales con un buen comportamiento al fuego, sin embargo, una capa delgada de este material puede resultar insuficiente para evitar que el flujo de calor provoque la ignición del aislante, más aún si

éste entra en ignición a temperaturas relativamente bajas (ver tabla 2.1). En un incendio totalmente desarrollado se pueden alcanzar temperaturas significativas (en torno a los 1.200°C), dependiendo de las características del incendio, en especial, de la carga de fuego. Sin embargo, los sistemas SATE constituidos por materiales combustibles tienen una clase de reacción al fuego de: C-s2, d0 a B-s1,

dependiendo del material y el fabricante, que los hace aptos para su aplicación en prácticamente cualquier edificio. Esta situación se debe al tipo de ensayos requeridos para su certificación como producto de fachada (ver capítulo 5).

En la actualidad, la mayoría de las investigaciones relacionadas con este tipo de riesgo se han realizado en SATE con aislante de EPS. Este material en relación con otros termoplásticos se considera el que tiene peor comportamiento a la exposición del fuego (I. Kotthoff et al., 2016). En general, en sistemas SATE se asocia un peligro más relevante cuando se trata de aislantes combustibles fusibles (que generan caída de gotas incandescentes) como el EPS y el XPS que en materiales no fusibles como el PIR y el PUR (Y. Martin, 2017). Otros materiales combustibles como la fibra de madera pueden también presentar fenómenos menos críticos como la combustión lenta (*Smouldering*) (Hakkarainen et al., 2002). Actualmente, existen pocas investigaciones sobre este tema.

En 2012 los servicios de seguridad contra incendios alemanes, después de varios casos de incendio relacionados con EPS en sistemas SATE, comenzaron a recopilar datos sobre este tipo de incidentes. El registro contiene más de 90 casos con 11 víctimas mortales y 124 heridos. Es especialmente notable el hecho de que las víctimas normalmente están en las plantas superiores al origen del fuego (A. Hofmann-Böllinghaus, 2017).



Figura 2.14. Incendio de fachada con sistema SATE material aislante sin determinar. Edificio "Belleville" Breslavia, Polonia 19/05/2017.

Fuente: Lotnicze Fotopolska.

Algunos aspectos específicos relacionados con el sistema SATE y aislamientos combustibles en situación de incendio son:

- Pérdida de integridad del revestimiento de mortero por deshidratación con aparición de grietas, exponiendo el material aislante al fuego.
- Ignición del material aislante bajo la capa de mortero, si ésta no ha perdido su integridad, consecuente caída de gotas si el material aislante es fusible.
- Contribución significativa del material aislante a la intensidad del incendio y su propagación.
- Producción de humos opacos y gases tóxicos.

- La altura de las llamas normalmente puede superar los 10 m, por lo que las franjas de material incombustible (Figura 2.15) propuestas en la normativa de países como Alemania y Francia puede ser insuficiente para evitar la propagación del fuego.

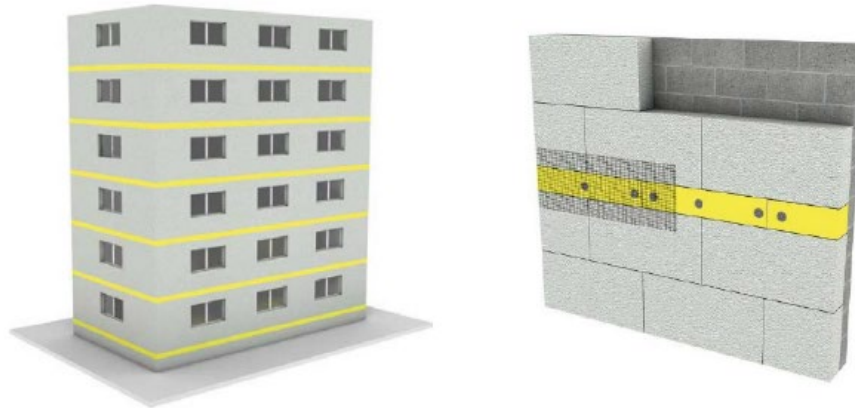


Figura 2.15. Franjas continuas de material aislante no combustible (200 mm) recomendadas en la normativa en vigor de Francia.

Fuente: Y. Martín, 2017.

En los sistemas SATE al igual que en el caso anteriormente expuesto de los paneles sándwich, los ensayos que determinan la aptitud del sistema de fachada no reproducen las condiciones que se pueden dar durante la propagación del fuego por fachada (capítulo 5). Es importante poner de manifiesto esta situación, considerando que durante los próximos años un número muy importante de edificios en toda España tendrá que renovar su envolvente térmica con sistemas SATE.

#### **2.1.1.5 Propagación a través de una hoja principal con elementos combustibles**

La tendencia a resolver las fachadas con sistemas ligeros, multicapa, formados por diversos materiales, cada uno de ellos especializado en satisfacer una función en concreto, puede llevar a diseñar fachadas con elementos combustibles incorporados en la propia hoja principal. No estamos hablando de revestimientos sino de la hoja principal, que actúa como soporte y cierre de la fachada, y su capacidad de entrar en ignición y favorecer la propagación del fuego.

Este sería el caso de un panel sándwich o multicapa dispuesto como único mecanismo de cierre de la fachada: panel sándwich de GRC –glass reinforced concrete- o de hormigón, sándwich metálico, panel de composite o fibra sintética, madera, etc.

La mayoría de los paneles de hormigón o GRC macizan los perímetros del panel quedando el núcleo completamente confinado. Este no es el caso en los paneles de chapas metálicas donde las chapas sitas a ambos lados del núcleo aislante no se tocan y dejan expuesto el material del núcleo en todos los cantos. La tendencia

en los paneles de hormigón y GRC es buscar esta misma estructura y desconexión entre capas, y por lo tanto dejar el material aislante más desprotegido.

Tal y como se menciona en el punto anterior, la propagación del fuego en este tipo de paneles ocurre cuando el revestimiento del panel pierde su integridad dando lugar a la propagación a través del material combustible del núcleo, es decir que, la reacción al fuego del material de las láminas exteriores, así como el grado de confinamiento del núcleo ligero, son importantes a la hora de valorar el riesgo que este tipo de productos comporta. En este sentido los paneles de chapas metálicas son los más vulnerables.

El cada vez más habitual uso de la madera como elemento de soporte debe también ser contemplado a efectos de propagación (Fig. 2.16).

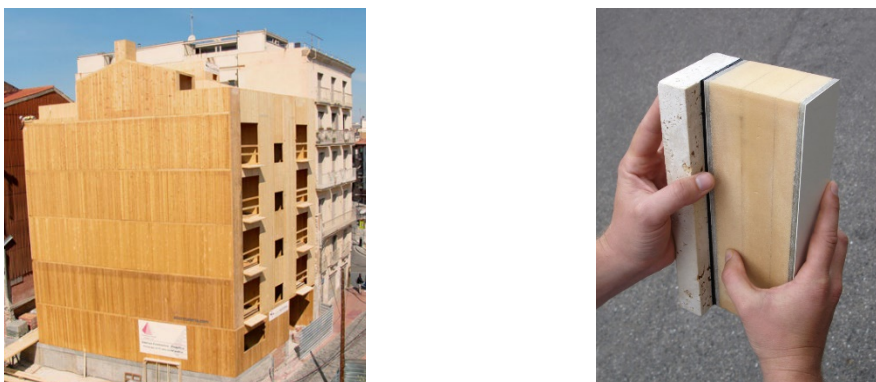


Fig. 2.16. Hoja principal de panel contralaminado de madera (izquierda). Hoja principal panel sándwich de núcleo polimérico (derecha).

Fuente: <https://altermateria.com/>. <http://3xn.com/project/horten-headquarters>.

### 2.1.2. IMPORTANCIA DEL DISEÑO DE LAS FACHADAS Y EL CONTROL DE LA EJECUCIÓN

El fuego es un fenómeno complejo sensible a diferentes factores, uno de los cuales es la configuración geométrica del recinto en el que se produce el incendio y de las superficies por las que se propaga. La fachada, por su verticalidad, es un medio “ideal” de propagación del incendio, y su diseño puede influir en cómo se desarrolla dicha propagación.

La fachada, por su verticalidad, es un medio “ideal” de propagación del incendio, y su diseño puede influir en cómo se desarrolla dicha propagación.

El diseño de la fachada comprende diversos aspectos relacionados con su geometría como son: el tamaño y la forma de las ventanas, la disposición de elementos salientes (aleros, balcones, parteluces, entre otros.), volúmenes y retranqueos, elementos de control solar etc. También la disposición de los diferentes elementos que conforman los sistemas y tipologías de fachada.

El diseño de la fachada puede contribuir a la propagación del fuego o por el contrario revertir sus efectos desviando o limitando su trayectoria. Los aspectos más relevantes relacionados con el diseño de la fachada son:

**La configuración geométrica de las ventanas.** Es un factor que puede influir significativamente en el tamaño, la trayectoria y la forma del penacho de fuego. Las fachadas con ventanas grandes representan un peligro mayor porque proyectan penachos proporcionales a su tamaño. Además, en recintos con ventanas grandes, normalmente la evolución del incendio ocurre con más rapidez e intensidad (Ee H. Yi et al., 2007). La forma de las ventanas afecta a la altura de las llamas o cuan ceñidas a la superficie permanezcan (Figura 2.17) (J. Patterson, 1993).

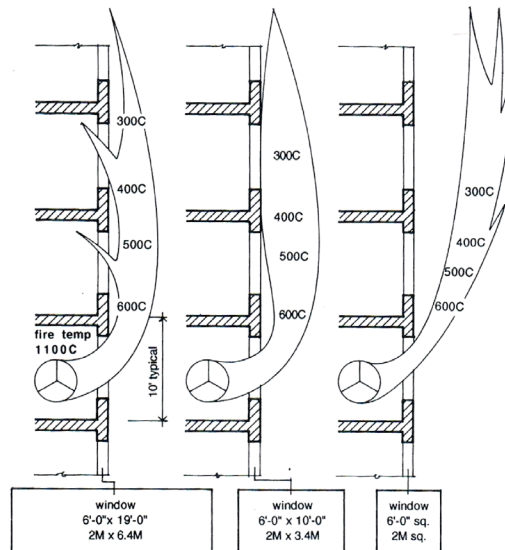


Figura 2.17. Relación del tamaño y forma de las ventanas con el comportamiento del penacho de fuego. Ventanas de distintos anchos.

Fuente: J. Patterson, 1993.

**Elementos o cuerpos salientes.** En general, los elementos salientes se pueden considerar deflectores del flujo de calor y las llamas, capaces de cambiar la trayectoria del penacho de fuego que emerge a través de las ventanas. Los elementos salientes horizontales como los aleros tienden a desviar el penacho de fuego hacia el exterior de la fachada evitando que el fuego incida sobre la superficie, mientras que los elementos verticales tipo parteluces tienden a concentrarlo y canalizarlo.

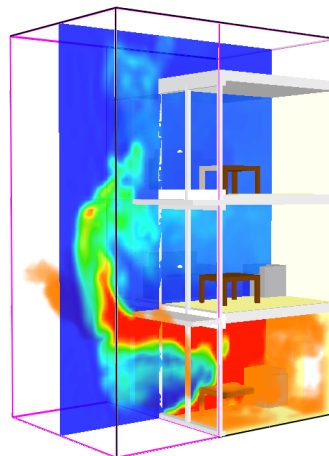


Figura 2.18. Los aleros son elementos capaces de desviar la trayectoria del fuego, evitando que el flujo de calor afecte las plantas superiores del edificio. Estudio realizado mediante modelado y simulación computacional de incendios.

Fuente: M.P Giraldo, 2012.

**Sistemas de fachada.** Los elementos que constituyen los distintos tipos o sistemas de fachada pueden conformar cavidades por las que el fuego se puede propagar o favorecer diferentes situaciones de riesgo en función de su ubicación y sus propiedades térmicas. Aun sin ser fachadas ventiladas, las fachadas aplacadas donde el revestimiento no se amortera al soporte, sino que se ancla de manera mecánica, constituyen sistemas compuestos por varias capas que conforman cavidades fruto del propio sistema constructivo, aunque sin función definida.

Los aspectos señalados destacan la importancia que puede tener cualquier decisión que se tome con relación al diseño de las fachadas, incluso en temas aparentemente simples como el tamaño de las ventanas, la disposición de un balcón o un alero, el tamaño de los montantes de un muro cortina, la elección de un material etc. En el diseño de las fachadas no solo se deben tener en cuenta aspectos estéticos, estructurales, de iluminación natural, control solar etc., sino todos aquellos relacionados con la protección pasiva frente al fuego. En ocasiones, la mera aplicación de la normativa no garantiza que se alcancen unos niveles de seguridad suficientes.

De igual manera, resulta fundamental la correcta ejecución de las medidas de protección pasiva (detalles constructivos) y su inspección y mantenimiento. Es muy importante que los trabajos sean realizados por personal cualificado, con el conocimiento específico de materiales y procedimientos. En España aún no existe un título o certificado que permita comprobar las competencias del personal de obras especializado en este ámbito, pero es algo en lo que están trabajando desde diferentes asociaciones de protección contra incendios. El año pasado se publicaron dos guías de sistemas de protección pasiva contra incendios, la primera de las cuales, de TECNIFUEGO, contiene información sobre la ejecución en obra de sistemas de protección pasiva. La segunda, del Clúster de Seguridad Contra Incendios, que pretende establecer los controles y comprobaciones necesarias (y sus registros) que aseguren la instalación y mantenimiento correctos de los sistemas de protección pasiva.

El trabajo coordinado de los diferentes agentes implicados en el proyecto (arquitectos, arquitectos técnicos, ingenieros, prescriptores, fabricantes etc.) es esencial para que los aspectos mencionados tengan una repercusión en la seguridad del edificio y de las fachadas.

## **2.2. CONSIDERACIONES SOBRE LA REGULACIÓN VIGENTE EN MATERIA DE PROPAGACIÓN EXTERIOR DEL FUEGO**

Al observar la regulación vigente sobre propagación exterior del fuego (CTE SI sección 2) hay algunos aspectos que llaman la atención y que cabe destacar. El primero de ellos es que la normativa no ha presentado cambios sustanciales desde el año 1996 (NBE CPI 96), lo que sugiere que durante los últimos años no se ha evolucionado en este aspecto. Sin embargo, las fachadas y en general la envolvente de los edificios, ha ido experimentando evidentes cambios incorporando nuevas funciones, nuevos dispositivos tecnológicos y nuevos materiales. El segundo aspecto a destacar es que la normativa actual aporta escasa información



y contempla pocas medidas de actuación, lo que da lugar a un amplio margen de interpretación que puede derivar en una inadecuada definición de los requerimientos de protección contra incendios.

No existe información técnica complementaria que oriente a los profesionales para abordar ciertos riesgos asociados a cada tipología constructiva.

Además, no se hace referencia a las diversas tipologías de fachada, tales como: las fachadas ventiladas, los muros cortina o los casos singulares de dobles pieles de vidrio. Tampoco existe información técnica complementaria que pueda orientar a los profesionales en la manera de abordar ciertos riesgos asociados a cada tipología constructiva. Esta situación traslada una enorme responsabilidad a los profesionales e industriales involucrados en los proyectos

debido a que son estos los que finalmente proponen y aplican las soluciones constructivas de protección. Una de las consecuencias de ello es que resulta difícil establecer el grado de seguridad que se alcanza mediante las medidas exigidas en diferentes casos. La justificación de las diferentes soluciones constructivas aplicadas (en muros cortina, fachadas ventiladas, etc.) puede convertirse más en un fin para cumplir con lo que la normativa exige y no en un medio para alcanzar un grado de seguridad aceptable en la edificación. Los requerimientos para cualquier tipo de fachada son la reacción y la resistencia al fuego en los términos especificados en el DB SI. La justificación se realiza aplicando directamente los valores límite especificados en el documento.

La propagación del fuego en edificios altos supone un incremento significativo del riesgo. Factores como el viento y el efecto chimenea influyen con mayor contundencia cuanto mayor es la altura del edificio. También las labores de evacuación y rescate se complican sustancialmente. Sin embargo, el CTE no contempla exigencias para este tipo de edificios, salvo la relacionada con el uso de rociadores automáticos a partir de 80 m de altura y de 28 m si se trata de hoteles o similares (residencial público).

Las medidas contempladas con relación a los materiales de fachada se perciben poco restrictivas. Así por ejemplo, la norma especifica lo siguiente: “la clase de reacción al fuego de los materiales que ocupen más del 10% de la superficie del acabado exterior de las fachadas o de las superficies interiores de las cámaras ventiladas que dichas fachadas puedan tener, será B-s3,d2 hasta una altura de 3,5 m como mínimo, en aquellas fachadas cuyo arranque inferior sea accesible al público desde la rasante exterior o desde una cubierta, y en toda la altura de la fachada cuando esta exceda de 18 m, con independencia de donde se encuentre su arranque; (...) se puede admitir una clase C-s3,d2 si se cumple lo que se establece en el artículo DB SI sección 1-3.2 (barreras cortafuegos de clase E30 cada 3 plantas y 10 m)”.

Este planteamiento deja gran parte del riesgo sin cubrir, ya que para muchos edificios (de planta baja más 5, por ejemplo) no existe requisito alguno en cuanto a la combustibilidad de los materiales de fachada. Por otro lado, la disposición de



barreras cortafuegos no es requerida cuando los materiales aislantes cumplen con la clasificación estipulada, a pesar de que el efecto chimenea ocurre en una cámara ventilada en presencia o no de materiales combustibles. Por otro lado, las barreras deberían instalarse a la altura de cada forjado tal como lo especifica, por ejemplo, la regulación británica basada en estudios previos (S. Colwell, B. Martin 2003).

Por otro lado, la clase B-s3, d2 corresponde a un material combustible con contribución muy limitada al fuego (B), opacidad alta de los humos producidos (s3) y alta caída de gotas o partículas inflamadas (d2). Resulta extraño que no se limite la aplicación en fachada de productos con el máximo de opacidad de humos y de caída de gotas inflamadas. En otros países de Europa la caída de gotas ha de ser d0, es decir, nula. La Ordenanza Municipal de Condiciones de Protección Contra Incendios de Barcelona (OMCPI) hace esta corrección al documento nacional y exige la clasificación sin caída de gotas (B-s3, d0). En el capítulo 4 se puede ver una aproximación por países de los requerimientos normativos en materia de seguridad contra incendios en Europa.

El otro aspecto concerniente a los materiales y productos de fachada está relacionado con los métodos de ensayo empleados para certificar la aptitud de productos y sistemas de fachada. Tal como se explica en el capítulo 5, los ensayos que se realizan a los productos y sistemas integrales de fachada no reproducen las condiciones de exposición al fuego típicas que se dan en una situación de incendio por el exterior, lo que está dando lugar a validar, para casi cualquier aplicación, productos potencialmente peligrosos en este tipo de incidentes de fuego.

## **2.3 CONCLUSIONES AL CAPÍTULO**

La propagación del fuego por fachada es un asunto que merece especial atención dada la facilidad y la rapidez con la que puede ocurrir, contribuyendo, en determinados casos, de forma significativa a la difusión del fuego en los edificios.

En las fachadas, el fuego puede propagarse por diferentes vías. Todas ellas están relacionadas con las tipologías y sistemas, el diseño y la configuración geométrica y los materiales y productos empleados para los revestimientos, aislamientos o la hoja principal de soporte. Es fundamental identificar los factores de riesgo que se dan en cada caso para implementar las medidas de protección pertinentes.

De forma ideal, la normativa aplicable debería poner en evidencia estos factores de riesgo y aportar las medidas de protección necesarias para minimizarlos o evitarlos. No obstante, las disposiciones contempladas en el CTE para limitar la propagación exterior del fuego son escasas y genéricas, lo que da lugar a un amplio margen de interpretación de los requerimientos de protección. A su vez, traslada una gran responsabilidad a los profesionales y técnicos encargados de determinar las soluciones constructivas de protección pasiva. En consecuencia, es posible construir fachadas que cumplen con la normativa vigente, pero pueden resultar potencialmente peligrosas en situación de incendio, ya sea por las soluciones constructivas del sistema de fachada, el diseño, o por la combustibilidad de los materiales y productos empleados.

En el apartado 2.2 se han expuesto una serie de reflexiones sobre el marco regulador actual con relación a la reacción al fuego de los productos aplicables a las fachadas. La problemática combina lo estipulado por el CTE y los parámetros comunes establecidos por el Comité Europeo de Normalización (CEN) para armonizar los procedimientos y normas de productos de la construcción. Por un lado, cabe destacar que la norma española no considera la peligrosidad que representa en los materiales de fachada admitir el índice máximo de opacidad y de caída de partículas incandescentes (B-s3,d2). Del lado europeo, los ensayos de certificación propuestos por el CEN abalan productos que suponen un riesgo potencial en situación de incendio. Es el caso de los paneles sándwich y los SATE cuya clasificación es apta para cualquier aplicación aun cuando estén constituidos por materiales con un grado de combustibilidad alto.

## 2.4 BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS REFERENCIAS

Wade, C. (1995) Fire Performance of external wall Claddings Under a performance-based Building code. Fire and Materials. Vol.19, pp. 127-132.

Kotthoff, I., Riemesch-Speer. (2013) Mechanism of fire spread of facades and the new Technical Report of EOTA. "Large-scale fire performance testing of external wall cladding systems". MATEC Web of Conferences 9:02010.

Law, M. (1978) Fire Safety of External Building Elements – The Design Approach. Engineering Journal of the American Institute of Steel Construction. vol 15, pp.59-74.

Giraldo, M. P. (2012) Evaluación del Comportamiento del Fuego y Seguridad Contra Incendios en Diversas Tipologías de Fachadas. (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de Catalunya.

Drysdale, D. (1998) An Introduction to Fire Dynamics, Second edition, John Wiley & Sons, New York, ISBN-13: 978-0471972914.

Collwell, S., Martin, B. (2003) Fire performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings, Building Research Establishment BRE, London, ISBN 1 86081 622 3.

Luengo, E. Una aproximación a los paneles sándwich. 24 MAPFRESEGURIDAD Nº 108 Cuarto Trimestre 2007.

Association of British Insurers «Technical briefing: Fire performance of sandwich panel systems »; Mayo de 2003.

Morgan, P., Shipp, M.P. (1999) «Firefighting options for fires involving sandwich panels». FRDG Publication number 3/99.

Collier, P.C., Baker, G.B. (2004) Improving the fire performance of polystyrene insulated panels in New Zealand.

Van Hees, P., Johansson, P. (2002) «Fire tests with rate of heat release and smoke production of sandwich panels when tested according to ISO FDIS 13784 part 1, part 2 and modified ISO FDIS 13784 part 1».

Collier, P. C. (2005) «Flame barriers for foamed plastics »; 2005. Study Report No. 144.

White, N., et al. (2014) Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components. The Fire Protection Research Foundation.

Kotthoff, I., Hauswaldt, S., Riese, O., Riemesch-Speer, J. (2016) Investigations of the performance of facades made of ETICS with polystyrene under external fire exposure and fire safety measures for their improvement. MATEC Web of Conferences 46, 02007 (2016). DOI: 10.1051/mateconf/20164602007.

Martin, I., et al. (2017) Fire Safety of multi-storey building Facades. Confédération Construction. Belgian Building Research Institute.

Hofmann- Böllinghaus, A., Bachemeier, P. (2017) Fire Safety of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) for Façades with polystyrene (EPS) insulation.

Ee. H. Yii., Fleischmann, C.M., Buchanan, A. H. Vent Flows in Fire Compartments with Large Openings. Journal of Fire Protection Engineering, vol. 17 no. 3, pp.211-237, August 2007, doi: 10.1177/1042391507069634.

Patterson, J. (1993) Simplified Design for Building Fire Safety, Iowa State University, John Wiley&Sons, Inc. New York. ISBN 0471572365.

Hakkarainen, T., Oksanen, T. (2002) Fire Safety Assessment of wooden Facades, Fire and Materials, vol. 26, pp.7-27.

### **Páginas web**

-Curtis, A. "Enclosure Fire Dynamics". <http://slideplayer.com/slide/5277123/>.

-Architects for Social Housing. (21/07/2017) The Truth about Grenfell Tower <https://architectsforsocialhousing.wordpress.com/2017/07/21/the-truth-about-grenfell-tower-a-report-by-architects-for-social-housing/>

-Argentina iNside News. (14/06/2017) Por Raúl Enrique Bibiano. miércoles, <http://arg-in.blogspot.com/2017/06/londres-terrorifico-incendio-del.html>

-Schreck, A. Gambrell, J. (19/01/2016) How a common building material turned a Dubai hotel fire into an inferno. ADAM The Associated Press. <https://www.thestar.com/business/2016/01/19/how-a-common-building-material-turned-a-dubai-hotel-fire-into-an-inferno.html>.

-Ilpost.it. Il grosso incendio al Marina Torch.  
<https://www.ilpost.it/2015/02/21/incendio-marina-torch-dubai/fire-at-the-torch-tower-in-dubai-2/>

-By Steven Hopkins. (30/06/2017) Grenfell Tower Blaze Sees Man Charged With 'Falsely Claiming He Lost Family Members'.  
[https://www.huffingtonpost.co.uk/entry/grenfell-tower\\_uk\\_5955fd45e4b0da2c73228763?guccounter=1](https://www.huffingtonpost.co.uk/entry/grenfell-tower_uk_5955fd45e4b0da2c73228763?guccounter=1)

-International Fire protection. (24/07/2017) Understanding Fire Performance of Insulated Panel Systems. Roy Weghorst. J  
<https://ifpmag.mdmpublishing.com/understanding-fire-performance-of-insulated-panel-systems/>

-EAE - European Association for External thermal insulation composite systems. ETICS in Europe.  
[http://www.interempresas.net/Cerramientos\\_y\\_ventanas/Articulos/108375-Ultimas-tendencias-en-el-aislamiento-termico-por-el-exterior-\(SATE\)-con-EPS.html](http://www.interempresas.net/Cerramientos_y_ventanas/Articulos/108375-Ultimas-tendencias-en-el-aislamiento-termico-por-el-exterior-(SATE)-con-EPS.html)

-Lotnicze Fotopolska. Incendio en conjunto de edificios de vivienda.  
<https://www.youtube.com/watch?v=7RrOkN8DCWI&feature=youtu.be>